

УДК 550.34

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.98.05>В. Ігнатишин^{1,2}, канд. фіз.-мат. наук, ст. наук. співроб., доц.,
E-mail: rgstrs1962@i.ua;Д. Малицький³, д-р фіз.-мат. наук, проф.,
E-mail: dmalytsky@gmail.com;Т. Іжак², канд. геогр. наук, PhD, доц.,
E-mail: tiboras@kmf.uz.ua;М. Ігнатишин¹, пров. інж.,

E-mail: sitkomonika@i.ua;

А. Ігнатишин¹, інж. II кат.,

E-mail: Adalbert_Ihnatisin@i.ua;

¹Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України,

Відділ сейсмічності Карпатського регіону,

вул. Ярославенка, 27, м. Львів, 79011, Україна;

²Закарпатський угорський інститут ім. Ференца Ракоці II,

пл. Кошута, 6, м. Берегове, 90202, Україна;

³Карпатське відділення Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України,
вул. Наукова 3-Б, м. Львів, 79000, Україна

МОНІТОРИНГ СЕЙСМОТЕКТОНІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ЗАКАРПАТСЬКОМУ ВНУТРІШНЬОМУ ПРОГІНІ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ КОМПЛЕКСНИХ ГЕОФІЗИЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. О.Є. Кошляковим)

Присвячено вивченню зв'язку варіацій параметрів геофізичних полів та геодинамічного стану Закарпатського внутрішнього прогину. Мета досліджень – вивчення зв'язків геодинамічного стану, спостережуваних метеорологічних параметрів та проявів сейсмічності Закарпатського внутрішнього прогину. Об'єкт дослідження: сейсмотектонічні процеси в регіоні за результатами моніторингу геофізичних полів. Предмет дослідження – просторово-часовий розподіл місцевої сейсмічності, сучасні горизонтальні рухи кори в зоні Оашського глибинного розлому, варіації параметрів атмосферних опадів, рівня води в річці Тисі за 2019–2020 рр. Методика досліджень полягає у використанні динамічних характеристик сучасних горизонтальних рухів, просторово-часового розподілу місцевих землетрусів, спостереженні атмосферних опадів та порівнянні інтервалів інтенсивних опадів із просторово-часовим розподілом місцевої сейсмічності за 2019–2020 рр. Для дослідження використовуються дані, отримані під час режимних геофізичних спостережень на території Закарпатського внутрішнього прогину, зокрема на режимних геофізичних станціях Відділу сейсмічності Карпатського регіону Інституту геофізики ім.С.І. Субботіна НАН України. Дані про рухи кори отримано на деформометричній станції "Королєве". Результати важливі для вивчення можливості прояву місцевої сейсмічності в регіоні та розв'язання проблем сейсмонезбезпечних територій та майбутнього прогнозу сейсмічних явищ.

Проведено дослідження зв'язку динаміки горизонтальних рухів кори в центральній частині Закарпатського внутрішнього прогину та місцевої сейсмічності в період інтенсивних атмосферних опадів. Вивчено зв'язки варіацій параметрів атмосферних опадів із просторово-часовим розподілом місцевої сейсмічності за 2019–2020 рр. Аналіз просторово-часового розподілу місцевої сейсмічності та варіації параметрів атмосферних опадів у 2020 р. вказує на високий ступінь кореляції рядів геофізичних даних: підвищення величини кількості опадів супроводжується підвищенням величини кількості зареєстрованих місцевих землетрусів у регіоні, що підтверджує гідрологічний аспект сейсмотектонічних процесів у Закарпатському внутрішньому прогині. У зоні Оашського глибинного розлому за 2020 р. спостерігається стиснення порід.

Ключові слова: гідрологічний стан, атмосферні опади, місцева сейсмічність, геодинамічний стан, землетруси, сучасні горизонтальні рухи кори.

Постановка проблеми. Дослідження гідрологічного стану Закарпатського внутрішнього прогину актуально не тільки в зв'язку із частими катастрофічними явищами на річках, але і в питанні зв'язку гідрологічного стану регіону із сейсмотектонічними процесами, що в ньому відбуваються. Територія Закарпаття – сейсмонезбезпечна зона, яка характеризується періодичними проявами місцевої сейсмічності. Щороку сейсмічні станції, розташовані на Закарпатті, реєструють велику кількість місцевих землетрусів, у тому числі і відчутні землетруси, енергія яких може погіршити екологічний стан регіону, спричинивши руйнування. На території Закарпатської області зосереджено багато важливих транспортних мереж, нафтогазогонів, продуктогонів, ліній електропередач, водосховищ ГЕС та інших об'єктів підвищеної небезпеки, нормальне функціонування яких залежить від стану сейсмонезбезпечності регіону. Тому важливо та необхідно здійснювати моніторинг щодо геодинамічного стану регіону, а також факторів, що впливають на швидкість перебігу геофізичних процесів, які в основному прискорюють вивільнення геомеханічної енергії. Відзначимо, що на сейсмічну безпеку Закарпаття мають вплив землетруси, які відбуваються у зоні Вранча.

На території Закарпатського внутрішнього прогину тривалий період проводиться моніторинг геофізичних процесів, за результатами якого отримано характеристики сучасних горизонтальних рухів кори-розширення порід з величиною 10×10^{-7} . Проведено дослідження геофізичних полів: магнітного поля Землі, електромагнітної емісії та радіоактивного фону середовища підтвердив зв'язок динаміки зміни параметрів досліджуваних полів та сейсмотектоніки регіону. Зазначимо, що у досліджуваному регіоні проведено спостереження варіацій параметрів метеорологічного та гідрологічного стану середовища за період 2004–2019 рр., просторово-часового розподілу місцевої сейсмічності, сучасних горизонтальних рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому, які виявили гідрологічний аспект сейсмотектонічних процесів у регіоні. Спочатку випадають інтенсивні опади, які супроводжуються швидким підняттям рівня води в свердловинах та річках регіону, зокрема в річці Тисі, на якій проводяться систематичні спостереження рівня води. Інтенсивні підняття води в річках супроводжуються інтенсивним розширенням порід (сезонні варіації рухів кори), що спостерігається на деформограмах в інтервалі доби. Як результат, спостерігають стиснення порід протягом 2–3 діб. Період спостережуваних

© Ігнатишин В., Малицький Д., Іжак Т., Ігнатишин М., Ігнатишин А., 2022

геодинамічних аномалій супроводжується (через 1–2 тижні) відчутними місцевими землетрусами. Із погляду геодинамічних процесів слід відзначити, що опади спричиняють стиснення порід верхніх шарів земної кори. За відсутності опадів відбувається опускання рівня води в річках та вивільнення геомеханічної енергії. Отже, вивчення впливу гідрологічного стану середовища на можливе підвищення сейсмічності регіону необхідне для розв'язання можливих екологічних проблем гідрологічного та геологічного характеру.

Аналіз публікацій за темою досліджень. Для вивчення сейсмотектонічних процесів у сейсмонезбезпечних регіонах важливі не тільки дослідження варіацій параметрів геофізичних полів, але і вивчення геологічних процесів, їх зв'язок з екологічним станом досліджуваних територій. Серед ключових напрямків геофізичних досліджень у регіоні – вивчення геодинамічних процесів. Відомі та досліджені характеристики напружено-деформаційного стану літосфери Землі за даними моделювання геопалеорекострукцій у геологічному часі. Вивченню ролі гравітаційно-ротаційних сил у формуванні глобального поля деформацій і напружень, як наслідку трансформації фігури поверхні літосфери Землі, присвячено низку робіт, зокрема (Церклевич та ін., 2019). За результатами електромагнітних спостережень виділено зони, охоплені фільтраційно-суфозійними процесами. Зазначені зони є першочерговими об'єктами, які повинні бути предметом пильної уваги для подальшого моніторингу карстопровальних процесів, а факт їх наявності необхідно враховувати для прийняття управлінських рішень органами влади про доцільність перенесення місць розташування автомагістралей та інших об'єктів інфраструктури (Максимчук та ін., 2019). Деформації земної поверхні відображають процеси глибинної динаміки Землі, які виникають унаслідок поступово-обертового руху планети в просторі. Традиційним підходом у таких дослідженнях є вивчення горизонтальних та вертикальних складових поля деформацій на основі технологій супутникової геодезії, що забезпечує можливість моніторингу і вивчення тривимірного поля деформацій за допомогою сучасних методів (Марченко та ін., 2019). Геодезичний моніторинг деформаційних процесів на геодинамічних полігонах (ГП) відбувається зазвичай без урахування впливу екзогенних чинників метеорологічного походження на динаміку земної поверхні та реперів. Для успішного виділення тектонічних чи техногенних рухів із усього спектра зареєстрованих переміщень земної поверхні потрібно вилучити їх гідрометеорологічну складову. Одним із видів метеорологічного впливу на динаміку земної поверхні та реперів є об'ємні деформації набряклих ґрунтів внаслідок варіації їх вологості, які зумовлюють сезонні вертикальні рухи, величина яких залежить від фізичних та мінералогічних властивостей ґрунту, особливостей навколишнього середовища та амплітуди річних коливань температури і вологості (Павлик та ін., 2019). Результати моніторингу процесів деформації русла річки повинні враховуватися під час вирішення завдань, пов'язаних з її русловими процесами, серед яких: розроблення та будівництво гідротехнічних споруд, проєктування мереж електропередачі на перетині річок, розвиток газопроводів, визначення небезпечних зон затоплення, визначення наслідків руйнування після спалахів або сезонних повеней (Буриштинська та ін., 2019). Зазначимо, що отримані магнітні характеристики рекомендовано враховувати для комплексної інтерпретації з метою розробки оптимального алгоритму моніторингу територій розташування об'єктів критичної

інфраструктури (Меньшов, 2020). Відомі роботи щодо створення моделі геоелектричних розрізів, а також визначень зони з аномальними значеннями електричної провідності та інтенсивності природного електромагнітного випромінювання (Кузьменко та ін., 2019). Для достовірної оцінки напружено-деформованого стану гірських порід і, відповідно, прогнозування карстових процесів і деформацій, пов'язаних із наявністю видобувних камер і розвитком карсту, можна успішно застосовувати метод природного імпульсного електромагнітного поля Землі (ПІЕМПЗ) (Баєрій та ін., 2020). Підтверджено залежність магнітуди від енергетичного класу, взаємозв'язок між геоакустичними і деформаційними даними. Показано, що чим більша глибина залягання вогнища землетрусу, тим більший коефіцієнт детермінації, що важливо для виявлення впливу сейсмічності на зміну інших параметрів середовища, зокрема температури, параметрів вогнищ землетрусів, що дає змогу побудувати дієву модель сейсмічності Закарпатського регіону (Хомяк та ін., 2020). Динаміка розвитку зсувів у межах зсувонезбезпечних територій за даними супутникової інтерферометрії в поєднанні з даними літолого-стратиграфічних, геоморфологічних і структурно-тектонічних досліджень дає результати щодо розвитку цих процесів і мінімізації їхнього негативного впливу на природно-техногенні системи (Уєлицьких та ін., 2020). У статті (Малицький, Майксел, 2021) представлено визначення тензора сейсмічного моменту методом інверсії хвильових форм з використанням тільки прямих хвиль, які реєструються на одній або на обмеженій кількості станцій. Дану методику застосовано для двох місцевих землетрусів, які відбулися в регіоні м. Бойзе (США).

Прояви змін клімату доцільно шукати у змінах циклічності температури та атмосферних опадів, пов'язаних із змінами сонячної активності (Шевченко та ін., 2021). Вивчення метеорологічного стану регіону, зокрема атмосферних опадів, рівнів води в свердловинах, підтвердило зв'язок гідрогеологічного та сейсмотектонічного станів у Закарпатському внутрішньому прогині (Ігнатишин та ін., 2019). Дослідження варіацій параметрів окремих геофізичних полів показали зв'язок геофізичних полів із геодинамічним станом у Закарпатському внутрішньому прогині (Ігнатишин та ін., 2019). У результаті досліджень виявлено зв'язок деформацій земної кори із сейсмічністю Закарпатського внутрішнього прогину, а саме, стиснення земної кори із підвищенням сейсмічності регіону (Ігнатишин та ін., 2017).

Сейсмотектонічні процеси та гідрогеологічний стан регіону в 2019 році. Геофізичні та сейсмологічні спостереження проводяться на території Закарпатського внутрішнього прогину тривалий час, оскільки тут функціонують пункти геофізичних спостережень Карпатського відділення Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України та Відділу сейсмічності Карпатського регіону Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України (рис. 1).

Важливість проведення досліджень гідрогеологічного стану Закарпаття викликане не тільки частими стихійними лихами гідрологічного характеру, від яких потерпає населення, але сейсмічними явищами, що є не рідкістю для даної сейсмонезбезпечної зони України. На території Закарпаття є багато річок, штучних озер, що можуть порушувати геологічну рівновагу середовища та створювати додаткові напруження на прилеглих ділянках. Через територію пролягають багато екологічно небезпечних технологічних артерій: нафтопроводів, газопроводів, продуктопроводів, ліній електропередач, залізничних

магістралей, які під час землетрусів можуть бути пошкоджені, що може вилитися в екологічну катастрофу. На території Закарпаття діє гідроелектростанція, а також у плані будівництво інших менших електростанцій. Всі ці об'єкти матимуть штучні водойми, водні маси яких чинитимуть тиск на поверхню земної кори, що може прискорити розрядку напружено-деформованого стану порід. Актуальність проведених наукових досліджень викликана також періодичністю сейсмічної активності регіону. Лише за 2019 р. сейсмічними станціями зареєстровано 116 місцевих землетрусів. У той же час слід відзначити, що останні відчутні місцеві землетруси були зареєстровані в Тячівському районі Закарпатської області в липні 2015 р. Оскільки відчутні місцеві землетруси на території Закарпатського внутрішнього прогину відбуваються з частотою 2–6 подій на рік, імовірність появи землетрусу для цього району зростає. Сучасні горизонтальні рухи кори, виміряні на пункті деформометричної станції "Королеве" в 2019 р., представлено розширеннями порід величиною $+6,5 \times 10^{-7}$. У 2018 р. підтверджено розширення порід з величиною $+12,8 \times 10^{-7}$. Отримана тенденція вказує на те, що рухи кори в регіоні мають усадковий характер – розширення порід із величиною $+10 \times 10^{-7}$. Підтверджено зв'язок інтенсивних рухів кори та місцевої

сейсмічності в регіоні, а також зв'язок метеорологічних параметрів та сейсмотектонічних процесів у регіоні: інтенсивні атмосферні опади супроводжуються підняттям рівня води у водоймах та річках, що суттєво впливає на поверхню земної кори. У свою чергу відбуваються інтенсивні рухи кори, а саме стиснення та розширення порід, через відчутні місцеві землетруси. Важливо вивчити вплив гідрологічного стану на прояв місцевої мікросейсмічності, оскільки у цей період спостережень відчутних місцевих землетрусів не зареєстровано. У результаті дослідження виявлено, що інтенсивні опади спричиняють інтенсивні стиснення кори в зоні Оашського глибинного розлому, незначні опади суттєво не впливають на характер рухів кори в регіоні, але сейсмічність проявляється після інтенсивних атмосферних опадів та інтенсивних рухів обох знаків у зоні даного розлому. Атмосферні опади супроводжуються інтенсивними рухами кори, які, у свою чергу, перебувають в одному часовому інтервалі з періодами підвищення сейсмічності. Оскільки на території зони Оашського глибинного розлому зареєстровано атмосферні опади величиною 600 мм, то можна стверджувати, що гідрологічний аспект, а також аерофізичний та астрофізичний аспекти є основними факторами впливу на сейсмотектоніку регіону.

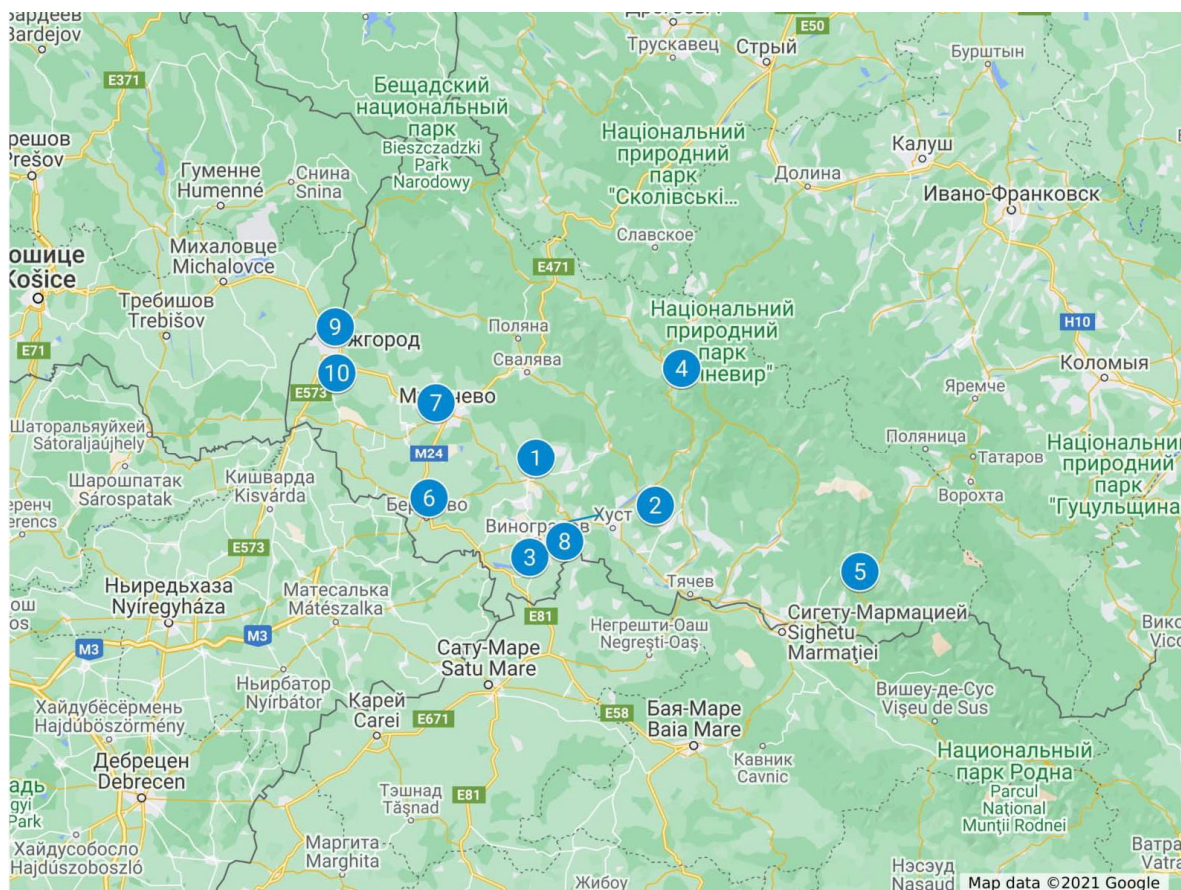


Рис. 1. Карта-схема розташування пунктів режимних геофізичних, сейсмологічних та деформометричних досліджень на території Закарпатського внутрішнього прогину:

- 1 – Режимна геофізична станція "Брід"; 2 – Режимна геофізична станція "Нижне-Селище"; 3 – Режимна геофізична станція "Тросник"; 4 – Сейсмічна станція "Міжгір'я"; 5 – Сейсмічна станція "Рахів"; 6 – Режимна геофізична станція "Берегове"; 7 – Режимна геофізична станція "Мукачеве"; 8 – Пункт деформометричних спостережень "Королеве"; 9 – Сейсмічна станція "Ужгород"; 10 – Режимна геофізична станція "Холмовець"

(https://www.google.com/maps/d/pdf?mid=1a8Caxd_IRw0Gn84OFTr_41rfqVGLMvUp&hl=ru&pagew=792&pageh=612&llsw=47.391482%2C21.802482&llne=49.311348%2C24.686393)

Землетруси відбулися в період інтенсивних рухів кори, після реєстрації інтенсивних атмосферних опадів.

На рис. 2 представлено розподіл атмосферних опадів за 2019 р., на якому спостерігаємо, що інтенсивність опадів

припадає на декілька часових інтервалів. На цьому рисунку здійснено порівняльний аналіз кінематики сучасних горизонтальних рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому та варіації параметрів гідрологічного стану за 2019 р. Можна побачити, що інтенсивні атмосферні опади в регіоні передують інтервалам, що

характеризуються підвищеними величинами кінематичних характеристик сучасних рухів кори.

На рис. 3 представлено просторово-часовий розподіл місцевої сейсмічності, варіації параметрів гідрологічного стану регіону та часовий розподіл прискорення геомеханічних рухів у Закарпатському внутрішньому прогині.

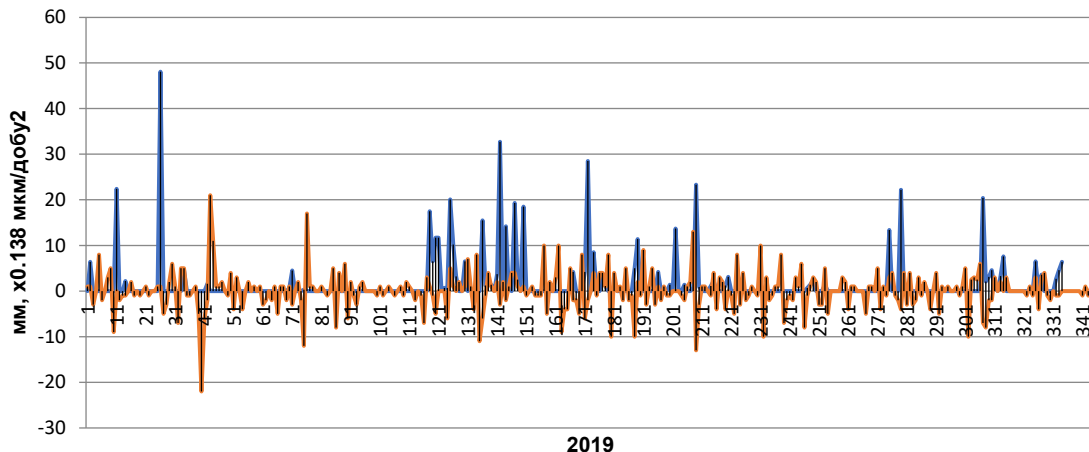


Рис. 2. Атмосферні опади (крива синього кольору) та сучасні рухи земної кори (крива червоного кольору) у 2019 році

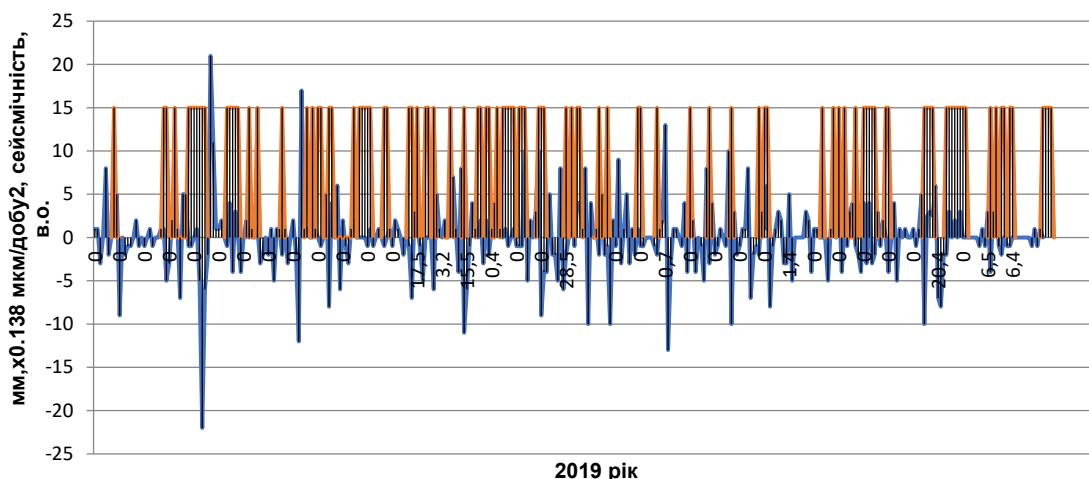


Рис. 3. Місцева сейсмічність (діаграма червоного кольору), рухи кори (крива синього кольору) та атмосферні опади (діаграма чорного кольору) за 2019 рік

Інтенсивні опади супроводжуються інтенсивними рухами кори, інтенсивні рухи кори, у свою чергу, супроводжуються проявом активізації місцевої сейсмічності. Біля режимної геофізичної станції (РГС) "Тросник" (с. Тросник Берегівського р-ну) проводяться систематичні вимірювання варіацій рівня води у свердловинах та річці Тиса. Попередні наукові дослідження, які стосувалися вивчення зв'язку параметрів гідрологічного режиму та сейсмотектонічного стану, вказують на суттєвий вплив параметрів гідрологічного стану на геофізичні процеси, що відбуваються: рухи кори та вивільнення енергії пружних деформацій.

Найсуттєвіший вплив на геодинаміку регіону здійснюють атмосферні опади. Вони вимірюються на РГС "Тросник" за допомогою опадоміра Третьяковського, а також цифрової метеорологічної станції "Конрад". Інтервал між сейсмічною активізацією та атмосферними опадами становить 1 добу. За період від січня до листопада 2020 р. на території РГС "Тросник" зареєстровано 607,85 мм атмосферних опадів, що приблизно збігається з кількістю опадів за 2019 р. (рис. 4).

Із графіків на рис. 4 робимо висновок, що в результаті дослідження виявлено кореляцію, а саме: сейсмічній активності регіону передують інтервали часу інтенсивних опадів. Інтервал становить 1 місяць, і максимуми атмосферних опадів у червні реєструються за місяць до максимумів місцевої сейсмічності в липні 2020 р.

Сучасні рухи кори в зоні Оашського глибинного розлому за 2020 рік. Проведено розрахунки сучасних рухів земної кори у досліджуваному регіоні. Було обчислено зміщення земної кори на пункті деформометричних спостережень "Королеве" у напрямку схід-захід у штольні пункту (рис. 5). Проведені вимірювання рухів кори в 2019 р. вказали на розширення порід кори величиною $+6,5 \times 10^{-7}$. Отримані результати моніторингу деформації земної кори підтвердили подальше розширення кори, що спостерігається від 1999 р. (початку деформометричних спостережень у регіоні). Досліджено рухи кори у місячних та добових діапазонах для виявлення їх періодичності. Враховано підсилення деформометра, що становить 0,138 мкм на 1 мм запису деформограми. За період в

11 місяців 2020 р. в зоні Оашського глибинного розлому зареєстровано зміщення величиною -28 нстр., а також виявлено періодичності тривалістю у 4 місяці. Як висновок – загальний характер сучасних горизонтальних рухів кори в досліджуваному регіоні відповідає стисненню порід. Виявлено, що амплітуди коливання величини

зміщення кори є суттєвими. Показано, що за 6 місяців 2020 р. стиснення порід становило 2000 нстр. На рис. 5 представлено зміщення земної кори в місячному діапазоні; виділено періоди тривалістю 2 та 4 місяці. Показано результати вимірювання горизонтальних рухів за 2020 р. та просторово-часовий розподіл місцевої сейсмічності.

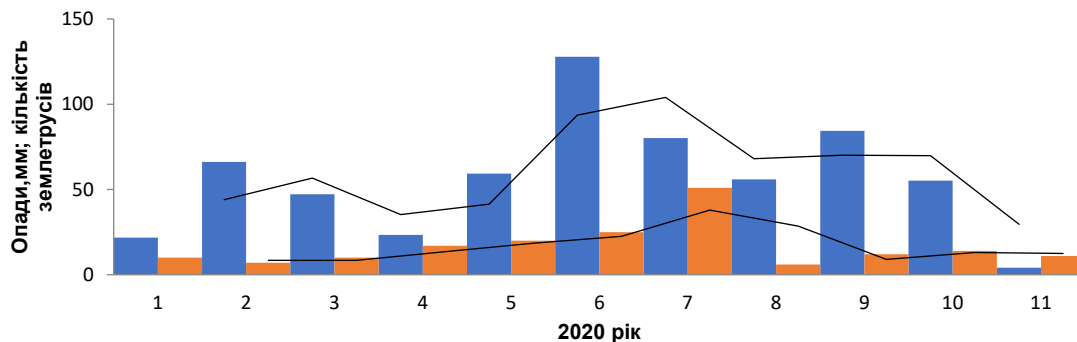


Рис. 4. Просторово-часовий розподіл місцевої сейсмічності (діаграма червоного кольору) та гідрологічний стан на РГС "Тросник" за 2020 рік (діаграма синього кольору)

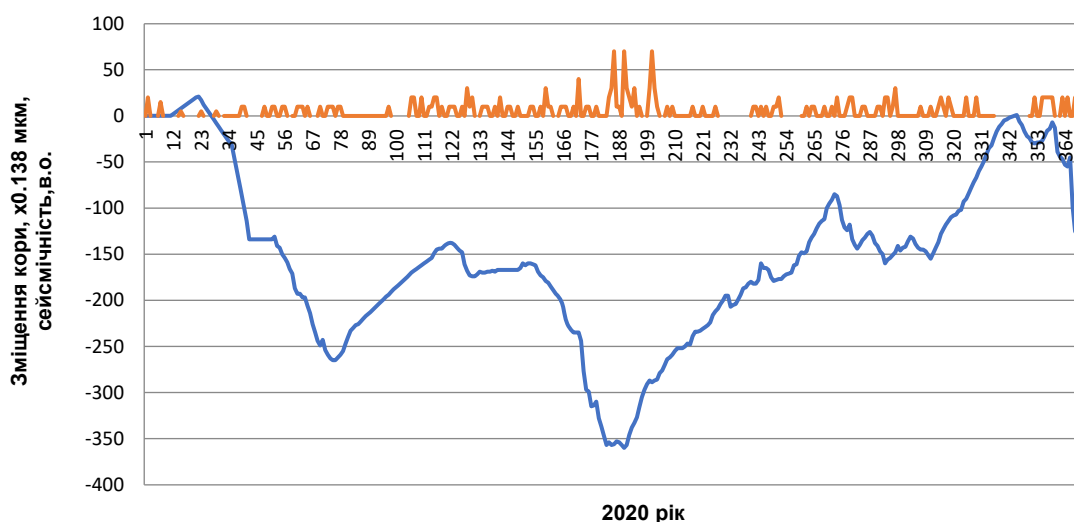


Рис. 5. Просторово-часовий розподіл місцевої сейсмічності (діаграма червоного кольору), зміщення земної кори (крива синього кольору) у Закарпатському внутрішньому прогині в 2020 році

Рухи кори на рис. 5 представлено високими амплітудами, що свідчить про виконання механічної роботи, на яку було затрачено велику геомеханічну енергію. Ймовірно відбувається акумуляція енергії зміщень верхніх шарів земної кори, що може сприяти підвищенню місцевої сейсмічності. Активність сейсмічності корелюється з періодом мінімуму рухів кори Землі, що відповідає стисненню кори. Виділені максимуми сейсмічної інтенсивності лежать в інтервалі періодів стиснення порід у добовому діапазоні.

Максимуми сейсмічної активності Закарпатського внутрішнього прогину припадають на липень 2020 р. (рис. 5), а рухи кори зазнають інтенсивних змін знаків з періодом у 4 місяці. Зміщення форм кривих спостережуваних геофізичних полів становить 3 місяці, тобто землетруси реєструються через 3 місяці після інтенсивних рухів кори. Результати дослідження рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому (деформометрична станція пункту деформометричних спостережень) за весь період роботи з 1999 по 2020 р. показують важливу особливість сучасних горизонтальних рухів кори, а саме їх періодичність, що становить 12 років. Ця періодичність включає в себе і наявність тривалих періодів із

нехарактерними кінематичними характеристиками: протягом 2–2,5 років зміщення кори представлено низькими величинами вікових ходів спостережуваних деформацій кори (близькими до умовного "0") та від'ємними рухами земної кори (стисненнями порід). Ці періоди важливі для розуміння характеру зміщень порід та сейсмічного стану регіону, оскільки після періоду низьких та від'ємних рухів кори спостерігаються тривалі (до 10 років) часові інтервали розширення порід із швидкостями, що лежать у діапазоні $4\text{--}20 \times 10^{-7}$. Також виявлено збільшення частоти прояву місцевої сейсмічності за цей інтервал часу, показано початок іншої фази вікових рухів кори, коли вони по чергово перебувають у процесі стиснення та розширення в річному діапазоні. Цей період часу відмічається як період підвищення сейсмічності регіону, тобто сейсмічний фон Закарпатського внутрішнього прогину коливається в межах двох сотень місцевих землетрусів. Індикатором активізації місцевої сейсмічності є реєстрація відчутних місцевих землетрусів, періодичність яких коливається від одного до шести подій за рік. Виявлено тривалий період відсутності відчутних місцевих землетрусів, але за липень-серпень 2015 р. в Тячівському

районі Закарпаття було зареєстровано сотні повторних мікроземлетрусів, серед яких були і 6 відчутних (Гнип та Ніщіменко, 2016).

Висновки. Результати спостережень та досліджень сейсмотектонічних явищ у сейсмогенеруючих областях земної кори виявили особливості, що характеризують екологічний стан регіону. Сучасні горизонтальні рухи кори в зоні Оашського глибинного розлому є періодичними. Загальна тенденція рухів кори – розширення порід з величиною $+10 \times 10^{-7}$. Величина зміщення земної кори, яка виміряна на ПДС "Королеве", вказує на стиснення порід і становить -28 нстр. Сейсмічність регіону представлена 182 місцевими землетрусами, у тому числі одним відчутним, зареєстрованим 23 січня 2020 р. на території Берегівського району Закарпатської області. Вперше за період з липня 2015 р. на території Закарпаття зареєстровано відчутний місцевий землетрус інтенсивністю 4–5 бали за шкалою MSK-64. Більша частина місцевих сейсмічних подій реєструється під час стиснення порід, виміряних на ПДС "Королеве". Коливання зміщень точок спостережень у зоні Оашського глибинного розлому характеризується великими амплітудами та свідчить про енергетичний потенціал геологічних процесів у Закарпатському внутрішньому прогині. Коливання рухів кори з амплітудами періодами 10–12 днів, ймовірно, акумулюють геомеханічну енергію рухів кори, що супроводжується стисненнями порід та швидкими рухами верхніх шарів земної кори, а саме землетрусами. Активність сейсмічності корелюється з періодом мінімуму рухів кори Землі, коли відбувається стиснення кори. Виділені максимуми сейсмічної інтенсивності лежать в інтервалі періодів стиснення порід і в добовому діапазоні. Максимуми сейсмічної активності Закарпатського внутрішнього прогину, що припадають на липень-серпень 2020 р., зазнають інтенсивних змін знаків з періодом у 4 місяці. Актуальним залишається вивчення сейсмотектонічних процесів в інших сейсмонезбезпечних локальних точках Закарпаття. Результати, отримані під час геодинамічного та сейсмічного моніторингу середовища, важливі для вивчення сейсмогенеруючих територій та їх сейсмонезбезпечності. За січень – березень 2020 р. зафіксовано інтенсивні атмосферні опади, які супроводжувалися проявом місцевої сейсмічності. Аналіз комплексного графіку (рис. 5) вказує на кореляцію кривих спостережуваних метеорологічних та геофізичних величин. Аналіз просторово-часового розподілу місцевої сейсмічності та варіації параметрів атмосферних опадів у липні-серпні 2020 р. вказують на високий ступінь кореляції рядів геофізичних даних: інтенсивні атмосферні опади та зростання сейсмічної активності в одних часових інтервалах. За цей період спостережень виявлено стиснення порід, але малої величини, подібно до 2014 р., коли було відмічено умовний "0" сучасних горизонтальних рухів. За 2020 р. на території Виноградівського району зареєстровано атмосферні опади величиною 607,85 мм. Криві результатів дослідження геофізичних величин корелюють між собою: сейсмічність активності регіону передують інтервали часу інтенсивних опадів. Різниця часу становить 1 місяць, тобто максимуми атмосферних опадів у червні реєструються за місяць до максимумів місцевої сейсмічності в липні 2020 р. Отже, у результаті досліджень підтверджено гідрологічний аспект сейсмотектонічних процесів у Закарпатському внутрішньому прогині.

Список використаних джерел

Багрий, С., Кузьменко, Е., Дзьоба, У. (2020). Зв'язок природного імпульсного електромагнітного поля Землі з напруженнями та деформаціями гірських порід на відпрацьованих родовищах солі в Передкарпатті в

задачах прогнозування розвитку карсту. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 2(89), 79-88.

Бурштинська, Х.В., Бабушка, А.В., Бубняк, І.М., Бабій, Л.В., Третяк, С.К. (2019). Вплив геологічних структур на характер зміщень русел рік верхньої частини басейну Дністра. *Геодинаміка*, 2(27), 24-38.

Гнип, А., Ніщіменко, І. (2016). Ідентифікація повторних землетрусів тягівської серії 2015 р. *Матеріали VI Міжнародної наукової конференції "Геофізичні технології прогнозування та моніторингу геологічного середовища", 20-23 вересня 2016 р., Львів: СПОЛОМ*, 56-58.

Ігнатишин, В.В., Іжак, Т.І., Ігнатишин, А.В., Ігнатишин, М.Б. (2019). Зв'язок деформацій земної кори із сейсмічністю Закарпатського внутрішнього прогину за 2017 рік. *Матеріали міжнародної наукової практичної конференції студентів, аспірантів та молодих науковців "Регіон – 2019: суспільно-географічні аспекти", Харків, 11 – 12 квітня 2019 р.*, 146-149.

Ігнатишин, В.В., Іжак, Т.І., Ігнатишин, М.Б., Ігнатишин, А.В. (2019). Зв'язок геофізичних полів із геодинамічним станом в Закарпатському внутрішньому прогині. *Матеріали всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції "Вітчизняна наука на зламі епох: проблеми та перспективи розвитку", Переяслав-Хмельницький*. Вип. 48, 9-15.

Ігнатишин, В.В., Іжак, Т.І., Ігнатишин, М.Б., Ігнатишин, А.В. (2019). Зв'язок гідрогеологічного та сейсмотектонічного станів в Закарпатському внутрішньому прогині. *Матеріали XXVII Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції "Інноваційні пріоритети у розвитку науки", 18 Лютого 2019 р., Вінниця*. Частина 1, 61-67.

Кузьменко, Е.Д., Максимчук, В.Ю., Багрий, С.М., Сапужак, О.Я., Чепурний, І.В., Дешиця, С.А., Дзьоба, У.О. (2019). Комплексування методів електророзвідки у задачах прогнозування техногенних процідань і провалів на родовищах солі Передкарпаття. *Геодинаміка*, 2(27), 54-65.

Максимчук, В.Ю., Сапужак, О.Я., Дешиця, С.А., Романюк, О.І., Підвірний, О.І., Коляденко, В.В., Тимошук, В.Р. (2019). Оцінка карстопроявів небезпеки у межах Стебницького калійного родовища методами електророзвідки. *Геодинаміка*, 1(26), 76-89.

Малицький, Д., Майкесел, Д. (2021). Визначення фокальних механізмів малих землетрусів шляхом обернення їхніх хвильових форм. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 1(92), 108-116.

Марченко, О.М., Перій, С.С., Ломпас, О.В., Голубінка, Ю.І., Марченко, Д.О., Крамаренко, С.О., Abdulwasii, Salawu (2019). Визначення тензора швидкостей горизонтальних деформацій в Західній Україні. *Геодинаміка*, 2(27), 5-17.

Меньшов, О. (2020). Магнітні дослідження природних і техногенних процесів об'єктів критичної інфраструктури на прикладі ділянки "Глинка". *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 1(88), 34-39.

Павлик, В.Г., Кутний, А.М., Кальник, О.П. (2019). Особливості впливу сезонних варіацій вологості ґрунту на вертикальні рухи земної поверхні. *Геодинаміка*, 2(27), 16-23.

Углицьких, Є., Вижва, С., Іванік, О. (2020). Моніторинг вертикальних зміщень земної поверхні території Закарпаття за даними радарної інтерферометрії. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 4(91), 94-99.

Хом'як, М., Малицький, Д., Асташкіна, О., Махницький, М., Кравець, С., Микита, А., Грицай, О. (2020). Регресійний аналіз сейсмічних і геофізичних параметрів та його застосування для дослідження сейсмічності Закарпатського регіону. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 3(90), 49-53.

Церклевич, А.П., Шило, О.М., Шило, Є.О. (2019). Зміни фігури Землі – геодинамічний фактор напружено-деформованого стану літосфери. *Геодинаміка*, 1(26), 28-42.

Шевченко, О., Скорбун, А., Осадчий, В., Чарний, Д. (2021). Мінливі ритми в режимі ґрунтових вод та їхній зв'язок з кліматичними чинниками. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 2(93), 71-81.

www.google.com/maps/d/pdf?mid=1a8Caxd_IRw0Gn84OFTTr41rfQVGLMvUp&hl=ru&pagew=792&pageh=612&llsw=47.391482%2C21.802482&lln=49.311348%2C24.686393.

References

Bahrii, S., Kuzmenko, E., Dzoba, U. (2020). Zviazok pryrodnoho impulsnoho elektromahnitnoho polia Zemli z napruzhenniamy ta deformatsiamy hirs'kykh poridna vidpratsovanykh rodovyschchak soli v Peredkarpatti v zadachakh prohnozuvannia rozvytku karstu. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 2(89), 79-88. [in Ukrainian]

Burshtynska, Kh.V., Babushka, A.V., Bubiak, I.M., Babii, L.V., Tretiak, S.K. (2019). Vplyv heolohichnykh struktur na charakter zmishchen rusel rik verkhnoi chastynty baseinu Dnistra. *Geodynamics*, 2(27), 24-38. [in Ukrainian]

Kuzmenko, E.D., Maksymchuk, V.Yu., Bahrii, S.M., Sapuzhak, O.Ya., Chepurnyi, I.V., Deshchytia, S.A., Dzoba U.O. (2019). Kompleksuvannia metodiv elektrorozvidky u zadachakh prohnozuvannia tekhnohennykh prosidan i provaliv na rodovyschchak soli Peredkarpattia. *Geodynamics*, 2(27), 54-65. [in Ukrainian]

Hnyh, A., Nishchimenko, I. (2016). Identyfikatsiia povtornykh zemletrusiv tiachivskoi serii 2015 r. *Materialy VI Mizhnarodnoi naukovo konferentsii "Heofizychni tekhnolohii prohnozuvannia ta monitorynhu heolohichnoho sredovyschcha", 20-23 veresnia 2016 r., Lviv: SPOLOM*, 56-58. [in Ukrainian]

Ihnatyshyn, V.V., Izhak, T.Y., Ihnatyshyn, M.B., Ihnatyshyn, A.V. (2019). Zviazok heofizychnykh poliv iz heodynamichnym stanom v Zakarpatskomu vnutrishnomu prohyni. *Materialy vseukrainskoi naukovo-praktychnoi internet-konferentsii "Vitchyzniana nauka na zlami epokh: problemy ta perspektivy rozvytku"*, Pereiaslav-Khmelnytskyi. Vyp. 48, 9-15. [in Ukrainian]

Ihnatyshyn, V.V., Izhak, T.Y., Ihnatyshyn, M.B., Ihnatyshyn, A.V. (2019). Zviazok hidroheolohichnoho ta seismotektonichnoho staniv v Zakarpatskomu vnutrishnomu prohyni. *Materialy Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi internet-konferentsii "Innovatsiini priorytety u rozvytku nauky"*, 18 Liutoho 2019 r., Vinnytsia. Chastyna 1, 61-67. [in Ukrainian]

Ihnatyshyn, V.V., Izhak, T.Y., Ihnatyshyn, A.V., Ihnatyshyn, M.B. (2019). Zviazok deformatsii zemnoi kory iz seismichnistiu Zakarpatskoho vnutrishnoho prohynu za 2017 rik. *Materialy mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii studentiv, aspirantiv ta molodykh naukovtsiv "Rehion – 2019: suspilno-heohrafichni aspekty"*, Kharkiv, 11 – 12 kvitnia 2019 r., 146-149. [in Ukrainian]

Maksymchuk, V.Yu., Sapuzhak, O.Ya., Deshchytisia, S.A., Romaniuk, O.I., Pidvirnyi, O.I., Koliadenko, V.V., Tymoshchuk, V.R. (2019). Otsinka karstoprovalnoi nebezpeky u mezhakh Stebnytskoho kaliinoho rodovyscha metodamy elektrorozvidky. *Geodynamics*, 1(26), 76-89. [in Ukrainian]

Malytskyi, D., Maikesel, D. (2021). Vyznachennia fokalnykh mekhanizmiv malykh zemletrusiv shliakhom obemennia yikhnikh khvylovykh form. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 1(92), 108-116. [in Ukrainian]

Marchenko, A.N., Perii, S.S., Lompas, O.V., Golubinka, Yr.I., Marchenko, D.A., Kramarenko, S.O., Abdulwasii, Salawu (2019). Determination of the horizontal strain rates tensor in Western Ukraine. *Geodynamics*, 2(27), 5-17. [in Ukrainian]

Menshov, O. (2020). Mahnitni doslidzhennia pryrodnykh i tekhnohennykh protsesiv ob'ektiv krytychnoi infrastruktury na prykladi dilianky "Hlynka". *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 1(88), 34-39. [in Ukrainian]

Pavlyk, V.H., Kutnyi, A.M., Kalnyk, O.P. (2019). Osoblyvosti vplyvu sezonnykh variatsii volohy gruntu na vertykalni rukhy zemnoi poverkhni. *Geodynamics*, 2(27), 16-23. [in Ukrainian]

Uhlytskykh, Ye., Vyzhva, S., Ivanik, O. (2020). Monitorynh vertykalnykh zmishchen zemnoi poverkhni terytorii Zakarpattia za danymy radarnoi interferometrii. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 4(91), 94-99. [in Ukrainian]

Khomiak, M., Malytskyi, D., Astashkina, O., Makhnitskyi, M., Kravets, S., Mykyta, A., Hrytsai, O. (2020). Rehresiyni analiz seismichnykh i heofizychnykh parametriv ta yoho zastosuvannia dlia doslidzhennia seismichnosti Zakarpatskoho rehionu. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 3(90), 49-53. [in Ukrainian]

Tserklevych, A.L., Shylo, O.M., Shylo, Ye.O. (2019). Zminy fihury Zemli-heodynamichnyi faktor napruzhenno-deformovanoho stanu litosfery. *Geodynamics*, 1(26), 28-42. [in Ukrainian]

Shevchenko, O., Skorbutun, A., Osadchyi, V., Charnyi, D. (2021). Minlyvi rytmy v rezhymii gruntovykh vod ta yikhni zviazok z klimatychnymy chynnykamy. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 2(93), 71-81. [in Ukrainian]

www.google.com/maps/d/pdf?mid=1a8Caxd_IRw0Gn84OFTTr41rfqQVGLMvUp&hl=ru&pagew=792&pageh=612&llsw=47.391482%2C21.802482&llne=49.311348%2C24.686393.

Надійшла до редколегії 10.03.22

V. Ihnatyshyn^{1,2}, Cand. Sci. (Phys.-Math.), Senior Researcher, Assoc. Prof., E-mail: rgstrs1962@i.ua;

D. Malytskyi³, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof., E-mail: dmalytskyi@gmail.com;

T. Izhak², Cand. Sci. (Geogr.), Assoc. Prof., E-mail: tiboras@kmf.uz.ua;

M. Ihnatyshyn¹, Leading Engineer, E-mail: sitkomonika@i.ua;

A. Ihnatyshyn¹, Category II Engineer, E-mail: Adalbert_Ihnatisin@i.ua;

¹S.I. Subbotin Institute of Geophysics of the NAS of Ukraine, Department of Seismicity of Carpathian region, 27 Yaroslavenka Str., Lviv, 79011, Ukraine;

²Ferenc Rakoczi II Transcarpathian Hungarian College of Higher Education, 6 Kossuth Sq., Berehove, 90202, Ukraine;

³Carpathian Branch of S.I. Subbotin Institute of Geophysics of the NAS of Ukraine, 3 B Naukova Str., Lviv, 79060, Ukraine

MONITORING SEISMOTECTONIC PROCESSES IN THE TRANSCARPATHIAN INNER TROUGH BASED ON THE RESULTS OF COMPLEX GEOPHYSICAL OBSERVATIONS

The article is devoted to the study of relations between the parameter variations of geophysical fields and the geodynamic state of the Transcarpathian Inner Trough. The research aims at studying the relations between the geodynamic state, observed meteorological parameters, and seismic phenomena in the Transcarpathian Inner Trough. Exploration target: seismotectonic processes in the region based on the results of monitoring geophysical fields. The scope of research includes the spatiotemporal distribution of local seismicity, modern lateral movements of the Earth's crust in the Oaş deep-seated fault area, precipitation parameter variations, water level in the Tysa River in 2019–2020. Research methodology presupposes the use of dynamic characteristics of modern lateral movements of the Earth's crust, spatiotemporal distribution of local earthquakes, observation of precipitation, as well as the comparison of heavy precipitation intervals with periods of seismic intensification. The research uses data obtained in the course of monitoring geophysical observations in the Transcarpathian Inner Trough area, especially at monitoring geophysical stations of the Seismicity Department of the Carpathian region of S.I. Subbotin Institute of Geophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine. The data on the movements of the Earth's crust have been obtained at "Korolevo" strainmeter station. The results are significant to study the possible occurrence of local seismicity in the region and to settle the issue of seismically hazardous territories, as well as prediction of seismically hazardous phenomena in the future.

The research studies the relation between the dynamic characteristics of modern lateral movements of the Earth's crust in the central part of the Transcarpathian Inner Trough and local seismicity in periods of intensive precipitation. The authors studied the relations between precipitation parameter variations and spatiotemporal distribution of local seismicity in 2019–2020. The analysis of spatiotemporal distribution of local seismicity and precipitation parameter variations in 2020 testifies to a high correlation of geophysical data series: increased amounts of precipitation are accompanied by an increased number of registered local earthquakes in the region; the hydrological aspect of seismotectonic processes in the Transcarpathian Inner Trough has been substantiated. In 2020 rock compression could be observed in the Oaş deep-seated fault area.

Keywords: hydrological state, precipitation, local seismic activity, geodynamic state, earthquakes, modern lateral movements of the Earth's crust.